

## تغییرات خواص مخزنی سازند ایلام در دشت آبادان، جنوب غرب ایران با تکیه بر اطلاعات دو چاه حفاری شده

چکیده

در این مطالعه تعیین رخساره‌های الکتریکی در سازند کربناته ایلام در دو چاه از دو میدان مختلف اما مجاور و نزدیک به هم از مبادین نفتی واقع در جنوب غربی ایران با استفاده از مقاطع میکروسکوپی چاه-A و نمودارهای الکتریکی و ارزیابی پتروفیزیکی و نتایج حاصل از آزمایش مغزه و نتایج بهره‌برداری هر دو چاه-A و B بررسی گردیده است. به این منظور، در ابتدا، مقاطع میکروسکوپی موجود از چاه-A مربوط به میدان-A در سازند ایلام مورد مطالعه و طبقه‌بندی قرار گرفت که در مجموع، ۹ رخساره شناسایی و طبقه‌بندی شد. سپس، با انتخاب مناسب دسته نمودارهای الکتریکی، یک رابطه‌ی یک‌به‌یک بین رخساره‌های زمین‌شناسی (به‌دست آمده از مطالعه مقاطع میکروسکوپی و طبقه‌بندی رخساره‌های الکتریکی) با شبکه‌ی هوش مصنوعی نرم‌افزار حاصل شد که قادر به توضیح و تبیین مقادیر و نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های مغزه‌های چاه و محاسبات پتروفیزیکی چاه-A می‌باشد. یک شبکه هوش مصنوعی نیز با موفقیت، برای پیش‌بینی میزان تراوایی همین چاه، از مقایسه بین نمودارهای الکتریکی و نتایج آزمایشگاه مغزه ساخته شد. سپس، به‌منظور تعیین رخساره‌های الکتریکی و پیش‌بینی میزان تراوایی چاه-B، شبکه‌های هوشمند ساخته شده در مرحله قبل به نمودارهای الکتریکی چاه-B اعمال و به‌صورت موفقیت‌آمیزی با نتایج مغزه و ارزیابی پتروفیزیکی چاه-B مقایسه گردید. به‌علاوه، این مطالعه نشان داد که پدیده دولومیتی شدن سنگ آهک، نقش به‌سزایی در افزایش میزان نفوذپذیری در سازند ایلام در این منطقه برعهده داشته است. در ضمن، مقایسه بین نتایج تراوایی به‌دست آمده در هر دو چاه و مقایسه آن با نتایج مغزه، نشان داد که پیش‌بینی میزان تراوایی با استفاده از شبکه‌های هوشمند، حداقل در منطقه مورد مطالعه این مقاله، کاملاً امکان‌پذیر است. علی‌رغم دما، فشار و خصوصیات بسیار نزدیک نفت دو مخزن، تولید چاه-A نسبت به چاه-B بیشتر بوده است که می‌تواند به‌دلیل وجود رخساره-۳ در چاه-A که از بیشترین میزان تراوایی در بین تمام رخساره‌ها برخوردار است و عدم وجود آن، در چاه-B باشد.

واژگان کلیدی سازند ایلام، الکتروفاسیس، میکروفاسیس، هوش مصنوعی، نفوذپذیری

مقدمه

محکمی برای پاسخ‌گویی به کلیه ابهامات موجود در سازند مورد مطالعه نیست. این امر اساساً با تعریف رخساره‌های لاگ و زون‌بندی مخزنی سازند صورت می‌گیرد. کاربرد آسان این زون‌بندی از یک سو و از سوی دیگر، متکی بودن عمده آن به داده‌های لاگ موجب می‌گردد تا به سرعت و با دقت قابل‌قبولی بتوان رخساره‌های الکتریکی را تعیین و تفسیر نمود. با وجود تازگی داشتن این بحث، انتظار می‌رود با توجه به توانایی رایانه‌های امروزی در انجام آنالیزهای پیچیده، این فرآیند به‌عنوان ابزار اصلی تعیین رخساره‌های لاگ در نرم‌افزارهای پیشرفته‌ی نفتی مورد استفاده قرار گیرد.

بعد از تعیین رخساره‌های الکتریکی، با نسبت دادن مشخصه‌های خاص زمین‌شناسی به رخساره‌ها نه تنها می‌توان به تفسیر مخزن پرداخت بلکه می‌توان آن‌ها را در سایر چاه‌ها در سطح میدان و

در این مطالعه سعی شده تا زون‌بندی مخزن با کمک رخساره‌های الکتریکی انجام شود چرا که یافتن روندی برای توجیه و تفسیر تغییرات خصوصیات مخزنی در گستره‌ی مورد مطالعه با توجه به حضور هیدروکربن، اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌خصوص آنکه امروزه در تعریف رخساره‌های مخزنی و الکتریکی، از روش‌های جدیدی استفاده می‌شود تا لایه‌بندی مخزنی سازند مورد مطالعه امکان‌پذیر گردد.

با توجه به این واقعیت مهم که در بسیاری از مبادین نفتی کشورمان، داده‌های موجود غالباً شامل داده‌های نمودار (لاگ)، مغزه، خرده‌های حفاری و تعدادی داده‌ی لزره‌ای عمدتاً قدیمی است، لذا در تجزیه و تحلیل سازندهای نفتی باید تکیه‌ی اساسی بر روی خرده‌های حفاری و داده‌های نمودار باشد که معمولاً مبنای

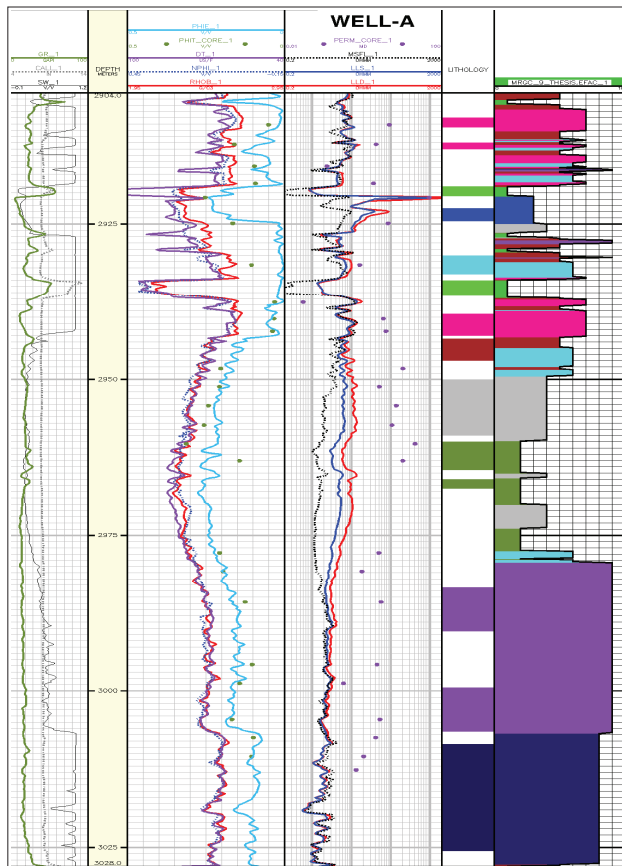
\*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (Bakhtiari\_prz@yahoo.com)



معنی که لزوماً با افزایش میزان تخلخل، میزان تراوایی هم به همان نسبت افزایش نیافته، اگرچه تحت تأثیر واقع شده است (شکل-۴). و بالاخره هیستوگرام درصد اشباع آب بر حسب رخساره‌های مختلف نشان می‌دهد که رخساره‌هایی که از کم‌ترین درصد اشباع آب برخوردار هستند و در واقع مملو از هیدروکربور می‌باشند، از

NAME	COL	PAT	WEIGHT	DT	GR	LLD	LLS	NPHI	LITH
1 FACIES_1			26						
2 FACIES_2			40						
3 FACIES_3			13						
4 FACIES_4			59						
5 FACIES_5			16						
6 FACIES_6			29						
7 FACIES_7			36						
8 FACIES_8			111						
9 FACIES_9			91						

شکل ۱ | شکل و رنگ نهایی رخساره‌های الکتریکی محاسبه شده در چاه شماره A



شکل ۲ | مقایسه بین رخساره‌های الکتریکی و رخساره‌های زمین‌شناسی و نمودارهای الکتریکی در چاه شماره A

یا میدان‌های مجاور جهت پیش‌بینی مشخصه‌های دلخواه یا برای تطابق به کار برد.

سازند مورد مطالعه در این تحقیق سازند ایلام است که در دو میدان نفتی A و B مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات فوق در جهت رسیدن به اهداف زیر به کار گرفته خواهد شد:

- تعیین رخساره‌های الکتریکی.
- پیش‌بینی گونه‌های سنگی مخزن در چاه‌های فاقد مغزه و به‌دست آوردن اطلاعات مفید در این گونه چاه‌ها
- تعیین گسترش گونه‌های سنگی موجود در میدان موردنظر.
- استفاده آتی از این اطلاعات جهت تهیه مدل تعیین انواع سنگ‌مخزن و واحدهای جریانی در قسمت‌های مختلف.

### ۱- روش کار

در این مطالعه از متد MRGC در نرم‌افزار ژئولاگ استفاده گردید. نمودارهای الکتریکی شامل جرم حجمی، تخلخل نوترون، نمودار صوتی، اشعه گاما و مقاومت ویژه با سه عمق بررسی کم، متوسط و زیاد، به‌عنوان نمودارهای مدل، به نرم‌افزار معرفی شدند. سپس، نمودار رخساره‌های زمین‌شناسی به‌عنوان نمودار همراه یا شاهد معرفی گردید. اما نتایج این مدل‌سازی و رخساره‌های الکتریکی به‌دست آمده، با رخساره‌های زمین‌شناسی تطابق خوبی نداشتند. با تغییر ترکیب نمودارهای خام و استفاده از نمودارهای GR,DT,NPHI,LLD,LLS رخساره‌های الکتریکی به‌دست آمده با رخساره‌های زمین‌شناسی هماهنگی نسبتاً خوبی نشان دادند. در نهایت، تشابه نزدیک و قابل‌قبولی بین رخساره‌های الکتریکی و رخساره‌های زمین‌شناسی حاصل شد (شکل-۲).

### ۲- تحلیل هیستوگرام نفوذپذیری، تخلخل مفید و درصد اشباع آب

نمایش هیستوگرام نفوذپذیری نشان می‌دهد طبقه‌بندی انجام شده که بدون استفاده از نمودار نفوذپذیری صورت گرفته، به‌راحتی توانسته رخساره‌ای را تعیین کند که قابلیت نفوذپذیری آن حداکثر بوده و محدوده آن کاملاً از سایر رخساره‌ها جدا و متمایز است (رخساره آبی‌رنگ). در ضمن، این توضیح نیز لازم است که شماره‌های روی تصویر برای هر رنگ مربوط به ترتیب ظهور رخساره از عمق کم به زیاد است و مربوط به شماره رخساره‌ها نیست (شکل-۳).

اما هیستوگرام درصد تخلخل مفید برای رخساره‌های به‌دست آمده نشان می‌دهد که لزوماً در کربنات‌های سازند ایلام در این چاه یک رابطه مستقیم بین میزان تخلخل و تراوایی وجود ندارد به این

میلی داری است، در صورتی که چنین محدوده بالایی از میزان تراوایی در چاه-B دیده نمی‌شود. با توجه به این که در تعیین رخساره‌های الکتریکی هر دو چاه از نمودارهای نفوذپذیری استفاده نشده است، می‌توان نتیجه گرفت که این خود، شاهدی بر این مدعاست که تعیین رخساره‌های الکتریکی از دقت بسیار خوبی برخوردار است.

هیستوگرام تخلخل موثر برای رخساره‌های مختلف در شکل-۸ نشان داده شده است.

در چاه-B همان‌طوری که دیده می‌شود رابطه مستقیم‌تری بین افزایش میزان تخلخل و افزایش میزان تراوایی در رخساره‌هایی که از تخلخل و تراوایی بالایی برخوردارند، دیده می‌شود.

هیستوگرام درصد اشباع آب نیز نشان می‌دهد که رخساره‌های الکتریکی محاسبه شده قادر به تمییز و جداسازی رخساره‌های هیدرو کربوری از رخساره‌های آب‌دار بوده‌اند که این خود، نشان‌دهنده و موید دیگری بر دقت خوب و قابل قبول رخساره‌های الکتریکی تعیین شده است (شکل-۹).

### نتیجه‌گیری

طبقه‌بندی سنگ‌های کربناته در مخازن نفتی معمولاً کار پیچیده‌ای تلقی می‌گردد که معمولاً به نوعی ایجاد سازش و هم‌خوانی بین اطلاعات مختلف از قبیل نمودارهایی با دقت عمودی زیاد و اطلاعات مغزه و اطلاعات دینامیکی نیازمند است. برای این کار باید به دنبال روابط ساده‌ی آماری بین کلاس‌های مختلف پتروفیزیکی و رخساره‌های زمین‌شناسی بود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این مطالعه این است که از نتایج اندازه‌گیری شده‌ی نفوذپذیری مغزه‌ها (میزان تراوایی) و همچنین، نتایج محاسبات پتروفیزیکی مانند درصد اشباع آب محاسبه شده و درصد تخلخل مفید به‌طور مستقیم در تعیین و گروه‌بندی رخساره‌های الکتریکی

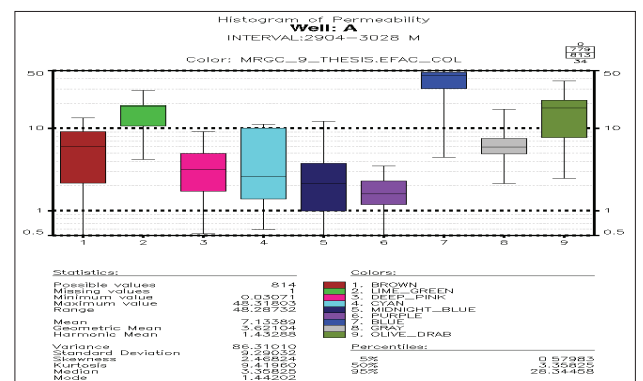
تراوایی بالایی هم برخوردارند و از این نظر، سازند ایلام در چاه مورد مطالعه، از پتانسیل تولیدی بالایی برخوردار است (شکل-۵).

### ۳- بررسی نتایج حاصل از اعمال مدل به‌دست آمده از چاه-A در چاه-B

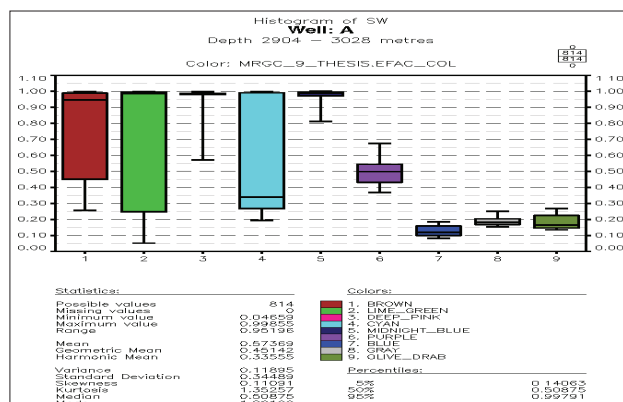
در این مرحله، مدلی که برای ساخت رخساره‌های الکتریکی در چاه-A به‌دست آمده بود، بر اطلاعات نموداری چاه-B اعمال گردید که نتیجه رخساره الکتریکی به‌دست آمده در شکل-۶ نشان داده شده است.

همان‌طوری که قبلاً نیز ذکر شد، برای این مدل‌سازی رخساره‌ای به‌ناچار فقط از نمودارهای GR,DT,NPHI,LLD,LLS استفاده گردید، زیرا اولاً تعداد نمودارهای چاه-A کمتر از نمودارهای چاه-B بود و در ضمن، تنها استفاده از این دسته نمودارها توانست یک رابطه نزدیک بین رخساره‌های زمین‌شناسی و رخساره‌های الکتریکی به‌دست دهد. البته در چاه-B رخساره-۳ ظاهر نشد. دلیل عدم حضور رخساره-۳ به‌وضوح در هیستوگرام نفوذپذیری چاه-B قابل ملاحظه است (شکل-۷).

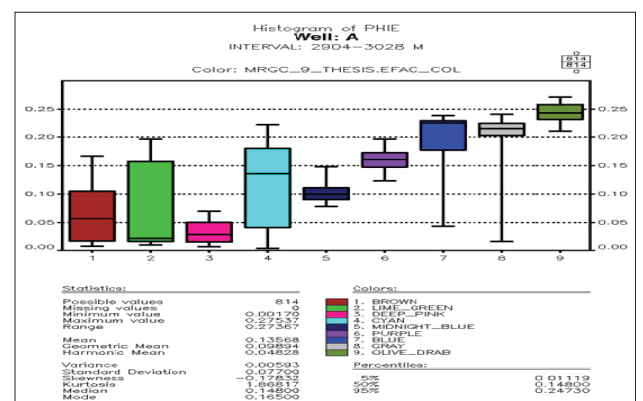
رخساره-۳ در چاه-A دارای میزان تراوایی بین ۳۰ تا ۵۰



شکل ۳ | هیستوگرام مقایسه تراوایی رخساره‌های الکتریکی مختلف در چاه-A



شکل ۵ | هیستوگرام مقایسه درصد اشباع آب رخساره‌های الکتریکی مختلف در چاه-A



شکل ۴ | هیستوگرام مقایسه تخلخل رخساره‌های الکتریکی مختلف در چاه-A



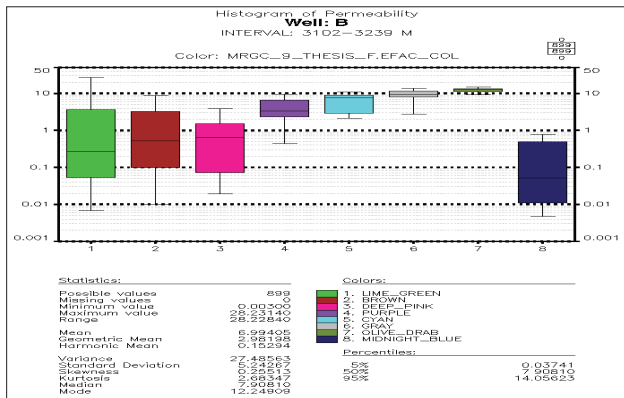
و هیستوگرام تراوایی که باز نقاط و گروه‌بندی آن‌ها بر حسب شماره‌ی رخساره است، نشان می‌دهد که گروه‌بندی انجام شده از دقت خیلی خوبی برخوردار است و علی‌رغم عدم استفاده از نمودار نفوذپذیری، موفق به دسته‌بندی رخساره‌ها به نحوی شده است که رخساره‌های متفاوت از نظر تراوایی به خصوص آن‌هایی که از تراوایی بالا برخوردارند، عموماً در گروه‌بندی‌های جداگانه‌ای قرار گرفته‌اند.

نکته جالبی که در این هیستوگرام‌های تراوایی چاه-A ملاحظه می‌شود این است که رخساره‌هایی که دارای حداکثر نفوذپذیری هستند، یعنی رخساره‌های ۲ تا ۴ دارای حداقل درصد اشباع آب بوده و بنابراین، از پتانسیل تولید هیدروکربور بالایی هم برخوردارند. این سه رخساره رابطه‌ی خطی خوبی بین درصد تخلخل و تراوایی (ضریب زاویه‌ای مثبت) نشان می‌دهند. در هر سه رخساره، از نظر مقاطع میکروسکوپی و وجه مشترک دیده می‌شود که عبارت است از وجود پدیده دولومیتی شدن. در رخساره‌های ۷ و ۹ در چاه-A بر خلاف سایر رخساره‌ها، رابطه‌ی بین تخلخل و تراوایی دارای ضریب زاویه‌ای منفی است که

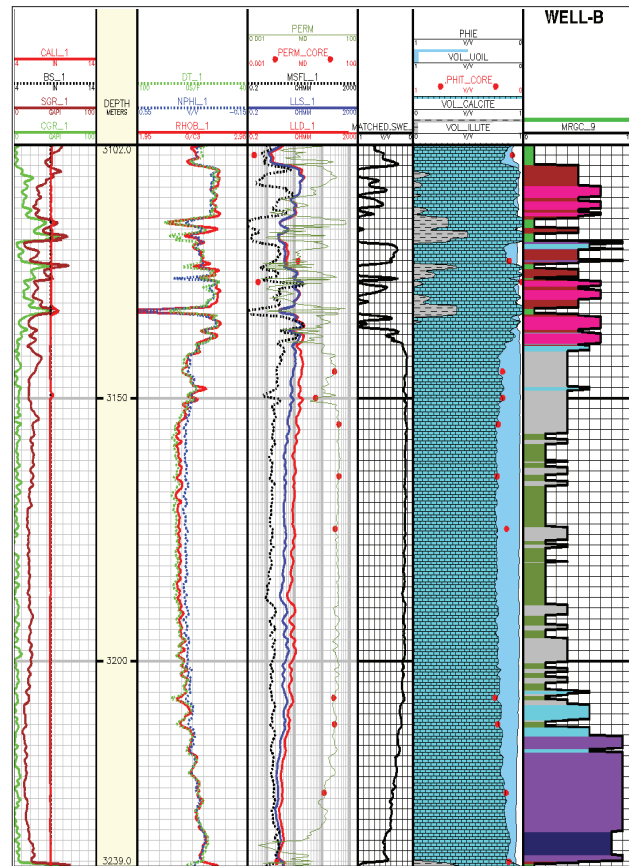
استفاده نشده است، بلکه از این نتایج برای تعیین دقت و صحت رخساره‌های تعیین شده و به‌عنوان شاهد و یا معیاری برای سنجش دقت گروه‌بندی رخساره‌ها استفاده گردیده است.

تعیین تعداد رخساره‌ها با مطالعه مقاطع میکروسکوپی در چاه-A میسر گردید و با مطابقت دادن دقیق عمق آن‌ها با نمودارهای الکتریکی همین چاه، رخساره‌های الکتریکی تعیین شد. البته به‌منظور مطابقت دادن رخساره‌های تعیین شده‌ی زمین‌شناسی با رخساره‌های الکتریکی، روش‌ها و نمودارهای مختلفی مورد آزمایش واقع شد و در نهایت، بهترین تطابق به‌عنوان رخساره الکتریکی نهایی برای چاه-A برگزیده شد. سپس، با مراجعه به نمودارهای مقاطع درصد اشباع آب محاسبه شده بر حسب میزان تخلخل مفید محاسبه شده و هیستوگرام تخلخل و هیستوگرام درصد اشباع آب که نقاط و گروه‌بندی آن‌ها بر حسب شماره‌ی رخساره رنگ شده‌اند، نشان داده شد که علی‌رغم عدم استفاده از این دو نمودار در تعیین رخساره‌ها، گروه‌بندی رخساره‌ها از دقت خیلی خوبی برخوردار است.

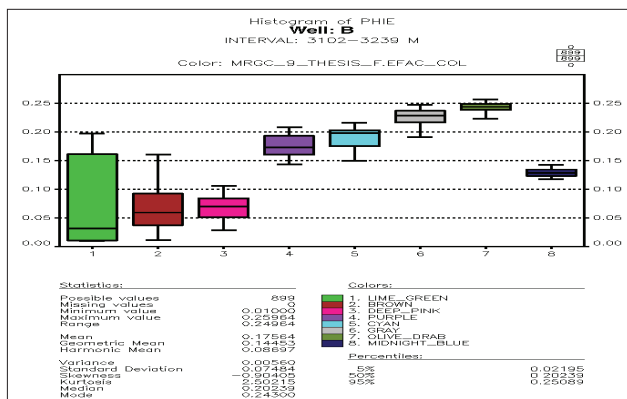
نمودار مقاطع میزان نفوذپذیری بر حسب درصد تخلخل مفید



شکل ۷ | هیستوگرام مقایسه‌ی تراوایی رخساره‌های الکتریکی مختلف در چاه-B



شکل ۶ | نمایش رخساره‌های الکتریکی محاسبه شده و نتایج ارزیابی پتروفیزیکی در چاه-B



شکل ۸ | هیستوگرام مقایسه‌ی تخلخل رخساره‌های الکتریکی مختلف در چاه-B

چاه-B ظاهر نشد و همین امر، دلیل دیگری بر دقت تعیین رخساره‌ها برای هر دو چاه است.

از نظر مقایسه بین تخلخل و نفوذپذیری بین رخساره‌های دو چاه، نکات زیر قابل توجه است:

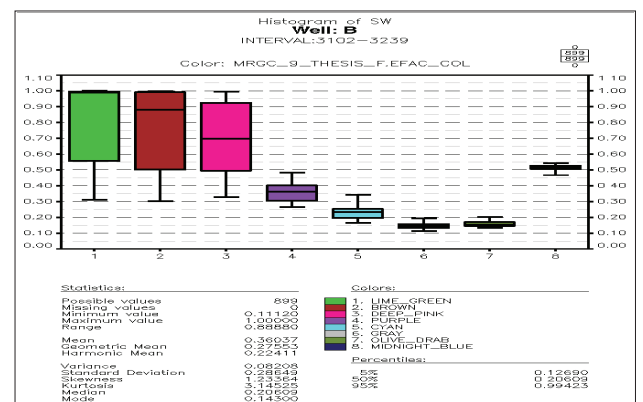
\* در تمام رخساره‌های الکتریکی به استثنای رخساره-۹، میزان تراوایی رخساره‌ها در چاه-A بیشتر بود؛ فقط در رخساره-۹ میزان تراوایی بیشتری در چاه-B مشاهده شد.

\* میزان تخلخل در تمام رخساره‌های الکتریکی چاه-B تا حدی بهتر و یا خیلی نزدیک به چاه-A می‌باشد. رخساره‌های ۶ تا ۸ تفاوت تخلخل بیشتری نسبت به سایر رخساره‌ها بین دو چاه نشان می‌دهند.

\* اگرچه در این مطالعه نشان داده شد که با مدل‌سازی دقیق رخساره‌های الکتریکی می‌توان رفتار مخزنی یک سازند در میدان مجاور را حداقل در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی نمود، اما تفاوت تراوایی بیانگر این است که لزوماً رخساره‌های الکتریکی تعریف شده و یکسان در چاه پیش‌بینی شده با چاه مرجع، به معنای این نیست که حتماً رخساره‌های زمین‌شناسی نیز در چاه پیش‌بینی شده با چاه مرجع یکسان باشند. تأیید این موضوع نیاز به مطالعه رخساره‌های زمین‌شناسی چاه پیش‌بینی شده دارد.

دلیل آن می‌تواند وجود درزه و شکستگی‌ها در تخلخل‌های پایین و افزایش تخلخل‌های غیرمرتبط در تخلخل‌های بالا باشد.

سپس، مدل رخساره‌ای به‌دست آمده از چاه-A در سازند ایلام به سازند ایلام مربوط به چاه-B که در میدان مجاور قرار داشت، اعمال گردید. نکته جالب اینجاست که علی‌رغم عدم استفاده از نمودارهای تراوایی در محاسبه رخساره‌های الکتریکی، رخساره-۳ در چاه-A که از بیشترین میزان تراوایی برخوردار بود، اصلاً در



شکل ۹ | هیستوگرام مقایسه درصد اشباع رخساره‌های الکتریکی مختلف در چاه

## منابع

- [۱] رحیمی بهار، ع.، پورسیامی، ح.، تفکیک زون‌های مختلف مخزن هیدروکربونی با کمک رخساره‌های الکتریکی، ۱۳۹۱
- [۲] مطیعی، ه.، ۱۳۸۷، زمین‌شناسی نفت سنگ‌های کربناتی، انتشارات آراین زمین
- [۳] موحد، ب.، ۱۳۷۸، مبانی چاه‌پیمایی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- [۴] نوروزی، غ.، ۱۳۷۸، چاه‌نگاری، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان
- [5] Anderson, J. T., Gregory, R. S. and Collins, W.T., 2002, Acoustic classification of marine habitats in coastal Newfoundland, ICES Journal of Marine Science
- [6] Archie, G. E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Transactions of AIME
- [7] Everitt, B. S., 1993. Cluster analysis, John Wiley and sons, third edition, New York-Toronto
- [8] Granier, B., 2003, A new approach in rock-typing, documented by a case study of layer-cake reservoirs in field "A", offshore Abu Dhabi (U.A.E.), Notebooks on Geology, Article 200304/
- [9] Lennon, R. B., 1976, Geological factors in stream-soak projects on the west side of the San Joaquin Basin, J. Petrol. Technol
- [10] Lin, J. L. and Salisch, H. A., Determination From Well Logs of Porosity and Permeability in a Heterogeneous Reservoir, paper SPE 28792, SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference, Melbourne, Australia 1994.
- [11] Markestad, P. Christie, O. and Espedal, A., Selection of Screen Slot Width to Prevent Plugging and Sand Production, paper SPE 31087, SPE Formation Damage Control Symposium, Lafayette, Louisiana 1996
- [12] Rantitsch, G., 2000, Application of fuzzy clusters to quantify lithological
- [13] Saggaf, M. M. and Nebrija, E.d., 2003, A fuzzy logic approach for the estimation of facies from wire- line logs, AAPG Bulletin,
- [14] Selly, R. C., 1986. Ancient sedimentary and environment and their subsurface diagnosis. Chapman and hall, London.
- [15] Serra, O. and Sulpice, L., 1975, Sedimentological Analysis of shale-sand series from well logs, SPWLA, 16th Ann. Log. Symp. Trans.
- [16] Serra, O., 1986, Fundamentals of well log interpretation. Vol.2. The interpretation of logging data. Amsterdam, Elsevier,